

文章编号:1007-2780(2018)08-0661-08

Trimmer 工艺参数对切割效果的影响

乔律华, 刘 涛, 李俊峰, 吴 松, 王贺卫*

(合肥京东方显示技术有限公司, 安徽 合肥 230012)

摘要:激光焊切机(Trimmer)是显示面板(TFT-LCD)工业中不可或缺的设备,其作用是利用激光束切除显示面板上的 Shorting Bar 结构。Trimmer 切割效果对于后工段良率有很大影响,因此研究 Trimmer 的工艺参数对切割效果的影响对于提升产品良率具有重要意义。本工作首先通过实验探究激光单脉冲能量 E 、激光频率 f 、切割速度 v 、加工光斑沿切割方向的边长 a 等工艺参数对于某款 165 cm(65 in)产品的切割效果的影响,然后深入分析了 Trimmer 的切割机理,提出了囊括所有工艺参数的变量“ ϵ ”,然后通过实验给出了对于膜厚为 $0.45\ \mu\text{m}$ 的 Cu 材质 Shorting Bar, Trimmer 激光单脉冲能量必须在 $7\ \text{mJ}$ 以上, ϵ 在 $400\ \text{mJ}/\text{mm}^2$ 以上,Trimmer 可以将 Shorting Bar 切除干净,并且得出 ϵ 与表征切割效果的参量 ω 之间的函数关系,证实了 ϵ 值对于切割效果的影响。

关键词:显示面板;激光焊切机;工艺参数;切割效果

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183308.0661

Effect of trimmer process parameters on trimming result

QIAO Lv-hua, LIU Tao, LI Jun-feng, WU Song, WANG He-wei*

(Hefei BOE Display Technology CO., Ltd., Hefei 230012, China)

Abstract: Trimmer is an indispensable device in the TFT-LCD industry. Its function is to use a laser beam to cut off the Shorting Bar structure on the display panel. The trimming result has a great influence on the yield after the trimming section. Therefore, it is of great significance to study the influence of the Trimmer process parameters on the trimming result for improving the yield of product. In this work, the influence of various process parameters on the trimming result is studied through experiments. Then the trimming mechanism of Trimmer is deeply analyzed. The variable " ϵ " including all process parameters of Trimmer is proposed. Afterwards, experiments have shown that for the Shorting Bar with thickness of $0.45\ \mu\text{m}$ Cu material, it can be removed cleanly only if the single pulse energy of the laser is $7\ \text{mJ}$ or more and the " ϵ " above $400\ \text{mJ}/\text{mm}^2$. The functional relationship between " ϵ " and the parameter " ω " that characterizes the trimming result is obtained, confirming the effect of " ϵ " value on the trimming result.

Key words: TFT-LCD; trimmer; process parameter; trimming result

收稿日期:2018-01-31;修订日期:2018-05-26.

* 通信联系人, E-mail: hewei2833@163.com

1 引言

Trimmer 设备是 TFT-LCD^[1-3] 工业中一种常见的设备,是激光技术和电子工业的结合产品,集光学、精密机械、计算机控制等多种技术于一体,是一种典型的光机电一体化设备。其工作原理是利用激光束将显示面板边缘的金属材质的 Shorting Bar 结构切除^[4]。在目前高清、超高清显示器大行其道的背景下,Trimmer 设备的重要性越发突出。

Trimmer 设备是使用激光束来切割显示面板上金属薄层的设备。Trimmer 的工艺参数对于切割的效果有很大影响,进而影响到产品良率,因此有必要对该问题进行相关探索,研究 Trimmer 的工艺参数对于切割效果的影响。

由于显示面板的生产过程需要在非常洁净的环境中进行,并且 Shorting Bar 结构尺寸在微米级别,对于加工的精度要求很高;Shorting Bar 结构紧邻显示面板的线路区域。这就要求切除 Shorting Bar 的加工方式具有洁净、精准、对周围区域影响较小的特点。满足这些要求的切割方式中,激光切割^[5-7] 具有很大的优势。

激光切割是利用高功率密度激光束照射材料,使材料很快被加热至汽化温度,蒸发形成孔洞,随着光束对材料的移动,孔洞连续形成宽度很窄的(如 0.1 mm 左右)切缝,完成对材料的切割。

激光切割有以下优势:(1)切割效率高、速度快;(2)切割精度高;(3)切割产生粉尘少、易去除;(4)非接触式切割。

由于激光切割具有的巨大优势,因此激光切割广泛应用于工业^[8-9]、农业^[10]、医学^[11] 等领域。

2 Trimmer 工作原理

Trimmer 设备主要是由激光器及激光聚焦光路、显示面板承载平台、带动激光聚焦光路移动的运动控制系统、切割效果检测单元等部分组成^[4],涉及激光光学、精密机械运动控制、光学系统、图像检测等领域。Trimmer 设备在 PLC 程序控制下,使用固定光学参数的激光束对显示面板固定位置的 Shorting Bar 进行精确切割,切割进行的同时,检测相机对切割道位置进行拍照并检测。

2.1 切割

激光汽化切割是利用高能量密度的激光束加热工件,使温度迅速上升,在非常短的时间内达到材料的沸点,材料开始汽化,形成蒸汽进而喷出。在蒸汽喷出的同时,在材料上形成切口。材料的汽化热一般很大,所以激光汽化切割时需要很大的功率和功率密度。激光汽化切割多用于极薄金属材料和非金属材料的切割。Shorting Bar 材质一般为 Al 或者 Cu,厚度一般在一微米以下。图 1 为某款产品 Trimming 前后的 Shorting Bar 区域。

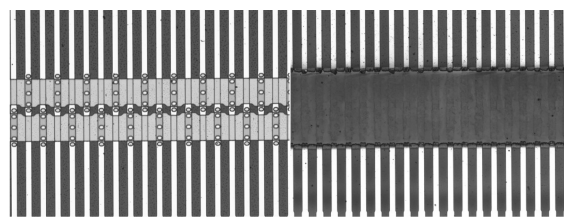


图 1 Shorting Bar 区域(切割前后)

Fig.1 Area of shorting bar (Before and after Trimming)

2.2 检测

在切割完成后,Trimmer 设备对于切割效果会进行自动检测。检测标准如下:(1)Shorting Bar 区域的线路完全切断,不能有线路残留;(2)切割路径上每张检测照片区域内留下的尺寸大于 10 μm 的 Particle 数目小于等于 2 个。

检测软件首先会拍摄切割区域的黑白照片;然后对于拍摄的图片,如图 3,红线区域内是软件检测的区域,黄色区域内是软件自动识别的切割边缘;然后检测软件对图像进行处理后,切割干净的区域会转变为纯黑色,灰阶值为 0,而未切割干净的区域转变为纯白色,灰阶值为 255。对于尺寸小于 10 μm 的白点,软件自动忽略,而对于尺

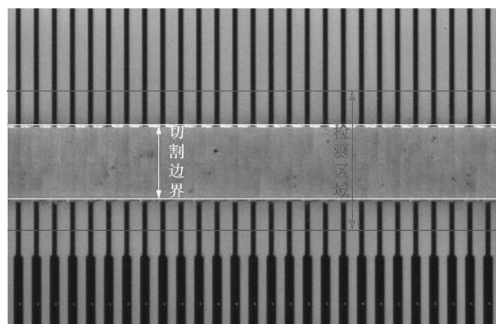


图 2 检测相机拍摄的图片

Fig.2 Picture from inspection camera

寸大于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的白点,软件识别后对白点区域对应的像素的灰阶值进行累加,对于检测区域累计灰度 ω 值大于 24 200 的图片,软件检测结果为 NG,累计灰度值 ω 小于 24 200 的图片,软件检测结果为 OK。这样,Trimmer 切割效果可以通过检测软件转化为可量化的数据形式。

3 Trimmer 相关工艺参数

Trimmer 相关的工艺参数包括:激光单脉冲能量 E 、激光频率 f 、脉宽 t 、激光焦距 L 、切割速度 v 、最大光斑尺寸 $S_{\max}$ 、加工光斑边长 $a \times b$ 等,

表 1 Trimmer 相关工艺参数

Tab.1 Process parameters for Trimmer

参数		说明	备注
激光器 相关参数	激光单脉冲能量(E)	单个激光脉冲能量	调节范围 $0.5 \sim 10\text{ mJ}$
	激光频率(f)	每秒发射激光脉冲数量	调节范围 $4 \sim 18\text{ kHz}$
	脉宽(t)半高宽	单个脉冲持续时间	固定值(30 ns)
	激光焦距(L)	—	固定值
设备相关 参数	切割速度(v)	激光切割时激光束移动的速度	调节范围 $40 \sim 220\text{ mm/s}$
	最大光斑尺寸($S_{\max}$)	激光束无遮挡时在焦点位置的横截面(正方形)尺寸	固定值
	加工光斑尺寸($a \times b$)	激光束横截面大小	a :光斑沿切割方向的边长 b :光斑垂直于切割方向的边长 调节范围 $30 \sim 250\text{ }\mu\text{m}$

列于表 1 中。

对于同一款产品,Shorting Bar 材质相同,金属层厚度相同。以上参数中,除去脉宽、激光焦距、最大光斑尺寸等数值固定的参数,激光单脉冲能量 E 、激光频率 f 、切割速度 v 、加工光斑沿切割方向的边长 a 等 4 个变量都有可能影响 Trimming 效果。

下面就通过几轮实验来探究 Trimmer 工艺参数对于切割效果的影响。

4 实验设置和实验过程

实验使用某 166 cm (65 in) 产品,Shorting Bar 区域金属层材质 Cu,厚度为 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 。

首先,通过 4 轮实验,每轮 6 组,每组参数进行 10 次切割,然后使用检测软件对于这 10 张切割结果照片进行检测,得出每张图片表征切割结

表 2 第 1-4 轮实验条件以及实验结果

Tab.2 Experimental conditions and results of 1st-4th rounds

第 1 轮						
No.	E/mJ	f/Hz	$v/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	$a/\mu\text{m}$	ω	判定结果
1	4	7 000	200	150	136 060	NG
2	5	7 000	200	150	41 256	NG
3	6	7 000	200	150	19 267	OK
4	7	7 000	200	150	7 215	OK
5	8	7 000	200	150	4 531	OK

续 表

第 1 轮						
No.	E/mJ	f/Hz	$v/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	$a/\mu\text{m}$	ω	判定结果
6	9	7 000	200	150	1 953	OK
7	10	7 000	200	150	892	OK
第 2 轮						
No.	E/mJ	f/Hz	$v/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	$a/\mu\text{m}$	ω	判定结果
8	7	4 000	200	150	166 036	NG
9	7	5 000	200	150	42 137	NG
10	7	6 000	200	150	18 998	OK
11	7	7 000	200	150	8 153	OK
12	7	8 000	200	150	2 195	OK
13	7	9 000	200	150	998	OK
14	7	10 000	200	150	884	OK
第 3 轮						
No.	E/mJ	f/Hz	$v/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	$a/\mu\text{m}$	ω	判定结果
15	7	7 000	140	100	4 086	OK
16	7	7 000	160	100	9 693	OK
17	7	7 000	180	100	19 569	OK
18	7	7 000	200	100	49 678	NG
19	7	7 000	220	100	102 140	NG
20	7	7 000	240	100	170 488	NG
21	7	7 000	260	100	235 809	NG
第 4 轮						
No.	E/mJ	f/Hz	$v/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	$a/\mu\text{m}$	ω	判定结果
22	7	9 000	200	60	242 961	NG
23	7	9 000	200	80	59 825	NG
24	7	9 000	200	100	21 536	OK
25	7	9 000	200	120	11 265	OK
26	7	9 000	200	140	6 589	OK
27	7	9 000	200	160	2 638	OK
28	7	9 000	200	180	685	OK

果的灰度值,最后得出灰度值的平均值 ω 。4 轮实验采用控制变量法,即每轮实验只改变一个参数,另外 3 个参数固定,以此来分别探究 E 、 f 、 v 、 a 等四个参数对于 Trimming 效果的影响。以下是实验条件和实验结果。

从以上实验结果可以得出,单脉冲能量越大、频率越高、切割速度越慢、光斑沿切割方向尺寸越大,切割效果越好。对同一款产品,这 4 个工艺参数决定了 Trimming 效果。但是从以上 4 组实验中可以看出,不同的工艺参数的组合可以得到同

样的 Trimming 效果,单独的某一个参数无法与切割效果相对应。我们推断,存在一个参数,这个参数是 E 、 f 、 v 、 a 等 4 个参数组合后得出的一个参数,该参数的数值大小对应于切割效果的好坏。

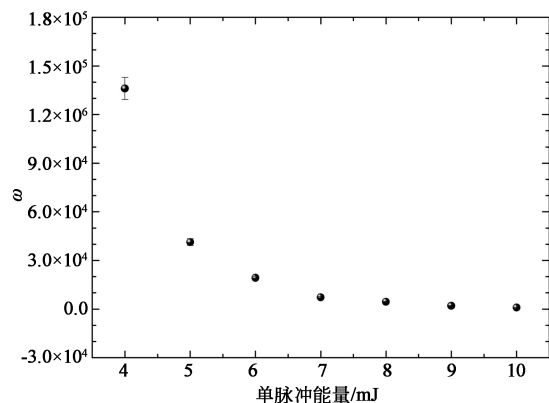


图 3 ω 与单脉冲能量之间的关系

Fig.3 Relationship between ω and single pulse energy

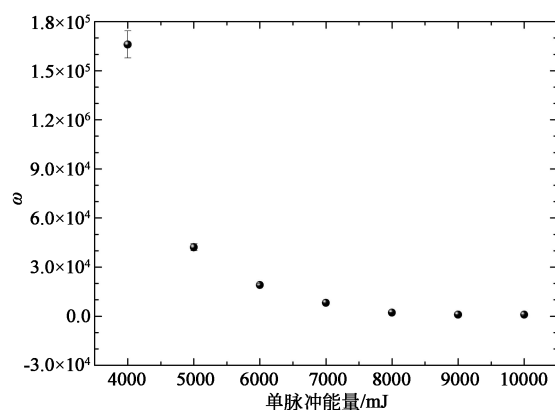


图 4 ω 与激光频率之间的关系

Fig.4 Relationship between ω and laser frequency

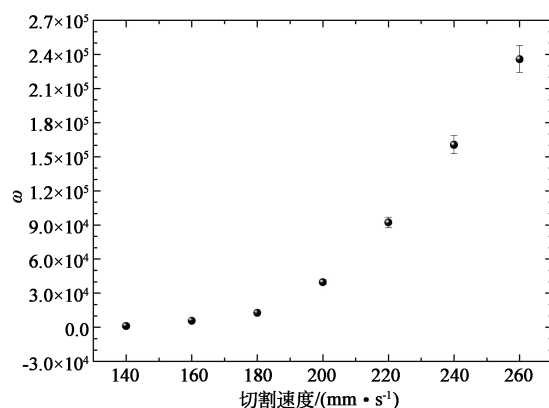


图 5 ω 与切割速度之间的关系

Fig.5 Relationship between ω and trimming speed

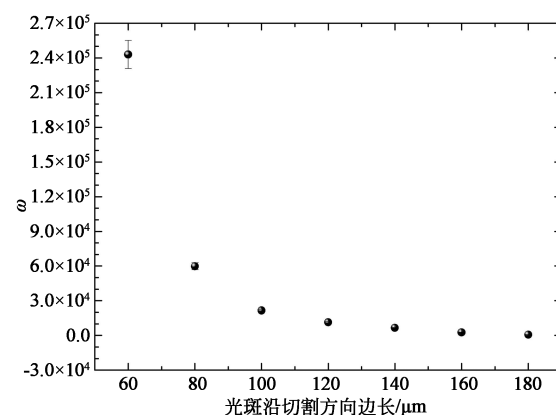


图 6 ω 与光斑沿切割方向边长之间的关系

Fig.6 Relationship between ω and the length of the spot along the cutting direction

由于 Trimmer 使用的激光器是脉冲激光器,激光器工作时激光束并不是连续出射,而是以固定频率的单脉冲的方式出射。切割时,激光束脉冲进入光路,轴向尺寸被加工至需求大小,聚焦后到达工作面。

切割过程可以描述为:固定能量($R \cdot ab$)的激光束,以固定的速度(v),固定的时间间隔($1/f$),固定的作用范围(ab)作用于 Shorting Bar 区域。激光束对于 Shorting Bar 的作用效果,取决于单位面积上受到的激光能量。其中:

$$R = E/S_{\max}, \quad (1)$$

即单脉冲能量密度等于激光束全部作用于工作面的条件下,激光束照射到的作业面的单位面积上接受到的激光能量。

当激光单脉冲能量为 E_0 ,激光频率为 f_0 ,切割速度为 v_0 ,加工光斑沿切割方向的边长 a ,最大光斑尺寸 $S_{\max}$ 时,计算单位面积上接受到的激光能量 ϵ 如下:

首先,单个激光脉冲到达工作面后对单位面积上施加的能量 e

$$e = R = \frac{E_0}{S_{\max}}, \quad (2)$$

然后,以速度 v 切割时,相邻两个光斑的距离 c 为

$$c = \frac{v_0}{f_0}, \quad (3)$$

激光对单个加工光斑尺寸面积上施加了 n 次脉冲

$$n = \frac{a}{c} = \frac{a}{v_0/f_0} = \frac{af_0}{v_0}, \quad (4)$$

这样得到，

$$\epsilon=en=\frac{aE_0f_0}{S_{\max}v_0} \quad (5)$$

为了验证该推断,我们进行了下列实验。将 ϵ 设置为某些固定的值,然后采用不同的 E 、 f 、 v 、 a 组合,以验证相同 ϵ 值得条件下,切割效

果是否一致。需要说明的是,单脉冲能量低于 7 mJ 的条件下,无论其他参数如何变化,切割效果都较差。该现象的出现可能是由于单脉冲能量过低的条件下,单个脉冲对于金属层的汽化作用已经不明显。因此,以下实验的单脉冲能量都在 7 mJ 以上。

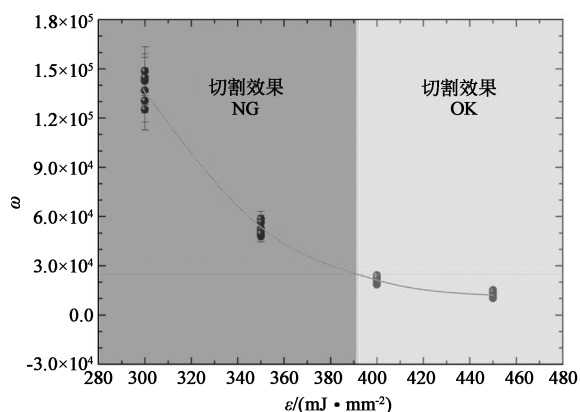
表 3 第 5~8 轮实验条件以及实验结果
Tab.3 Experimental conditions and results of 5th~8th rounds

第 5 轮							
No.	E/mJ	f/Hz	$v/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	$a/\mu\text{m}$	$\epsilon/(\text{mJ} \cdot \text{mm}^{-2})$	ω	结果判定
25	7	9 000	201	70	300	136 823	NG
26	8	6 000	154	70	300	125 269	NG
27	8	7 000	205	80	300	142 642	NG
28	7	9 000	230	80	300	130 542	NG
29	7	8 000	230	90	300	148 585	NG
30	10	8 000	365	100	300	144 654	NG
第 6 轮							
No.	E/mJ	f/Hz	$v/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	$a/\mu\text{m}$	$\epsilon/(\text{mJ} \cdot \text{mm}^{-2})$	ω	结果判定
31	7	7 000	288	150	350	52 563	NG
32	7	5 000	206	150	350	48 236	NG
33	8	9 000	282	100	350	51 256	NG
34	9	6 000	212	100	350	49 689	NG
35	8	8 000	201	80	350	58 523	NG
36	10	7 000	219	80	350	56 352	NG
第 7 轮							
No.	E/mJ	f/Hz	$v/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	$a/\mu\text{m}$	$\epsilon/(\text{mJ} \cdot \text{mm}^{-2})$	ω	结果判定
37	7	8 000	288	150	400	18 502	OK
38	7	10 000	288	120	400	19 236	OK
39	8	6 000	198	120	400	24 163	OK
40	8	8 000	307	140	400	19 654	OK
41	9	5 000	340	220	400	21 562	OK
42	10	12 000	330	80	400	22 853	OK
第 8 轮							
No.	E/mJ	f/Hz	$v/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	$a/\mu\text{m}$	$\epsilon/(\text{mJ} \cdot \text{mm}^{-2})$	ω	结果判定
43	7	10 000	256	120	450	12 363	OK
44	8	10 000	292	120	450	10 358	OK
45	7	14 000	239	80	450	15 236	OK

续 表

No.	E/mJ	f/Hz	$v/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	$a/\mu\text{m}$	$\epsilon/(\text{mJ} \cdot \text{mm}^{-2})$	ω	结果判定
46	8	15 000	292	80	450	14 562	OK
47	9	12 000	263	80	450	11 835	OK
48	10	6 000	219	120	450	14 036	OK

将以上实验结果数据整理如图 7,得到 ω 与 ϵ 之间的关系。

图 7 ω 与 ϵ 之间的关系Fig.7 Relationship between ω and ϵ

从以上第 5、6、7、8 轮实验可以看出,在 ϵ 值固定的条件下,表征切割效果的 ω 值除去误差因素以及设备状态的稳定性,上下浮动较小,说明切割效果是一致的。这样, ϵ 数值大小能够与切割效果相对应,即对于同一款产品, ϵ 值能够表征 Trimmer 的切割效果。

通过对图 7 中数据进行简单拟合,得出 ϵ 值与表征切割效果的 ω 之间的关系大致如下

$$\omega = 7.80017 \times 10^{19} \epsilon^{-5.96231}, \quad (6)$$

其中:当 $\omega < 24\ 200$ 时,切割效果 OK,此时 ϵ 大致在 400 左右。即对于 0.45 μm 厚度的铜质 Shorting Bar,当 ϵ 值大于 400 mJ/mm^2 时,激光可以将 Shorting Bar 很好地去除。

对于以上现象出现的深层原因,目前实验条

件下还无法进行探究。现阶段本文的意义在于,通过文中建立的理论,结合实验的结果,得到 ϵ 值与切割效果之间的关系,进而为 Trimmer 生产过程中工艺参数的设置提供参考。

5 结论和展望

目前在 TFT-LCD 行业,Trimmer 设备工艺参数的设置只是简单的以切割效果作为依据,简单的根据切割效果来进行参数的设定,并没有系统的探索这些参数对于切割效果的影响。本文通过系统的实验探究得出以下结论:

(1) Trimmer 工艺参数中,激光单脉冲能量 E 、激光频率 f 、切割速度 v 、加工光斑沿切割方向的边长 a 等 4 个参量都会影响切割效果。单脉冲能量越大、频率越高、切割速度越慢、光斑沿切割方向尺寸越大,切割效果越好。

(2) 本文中提出的 ϵ 值将 E 、 f 、 v 、 a 四个参数整合,与表征切割效果的 ω 值能够很好地对应。在实际生产中, ϵ 值可以指导切割参数的设置。

(3) 对于 0.45 μm 厚度的铜质 Shorting Bar,当激光单脉冲能量在 7 mJ 以上, ϵ 值大于 400 mJ/mm^2 时,激光可以将 Shorting Bar 很好地去除。

本次实验中,只使用了一种 Trimmer 设备,激光器脉宽参数是固定的,因此我们并没有探讨该参数对于切割效果的影响。后续实验将使用不同脉宽参数的激光器,不同膜厚不同材质的 Shorting Bar 的产品进行探究,更加深入、全面地探究 Trimmer 工艺参数对于切割效果的影响。

参 考 文 献:

- [1] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社,2011.
MA Q G. *TFT-LCD Principle and Design* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)
- [2] 黄锡珉. 平板显示技术的发展[J]. 液晶与显示, 2002, 17(5): 317-322.

- HUANGX M. Progress of flat panel display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2002, 17(5): 317-322. (in Chinese)
- [3] 邵喜斌.液晶显示技术的最新进展[J].液晶与显示,2000,15(3):163-170.
SHAO X B. Recent progress of liquid crystal display technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2000, 15(3): 163-170. (in Chinese)
- [4] 韩红霞.液晶屏短路环激光切割系统控制设计与分析[D].长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2004.
HAN H X. Control design and analysis of LCD short loop laser cutting system[D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, 2004. (in Chinese)
- [5] 张韶辉.激光切割工艺技术研究[D].西安:西安理工大学,2005.
ZHANG S H. The study on the laser cutting technique [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2005. (in Chinese)
- [6] 邓素辉.激光与物质相互作用的热效应研究[D].南昌:江西师范大学,2006.
DENG S H. Study on the thermal effect in the interaction of the laser radiation with matter [D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2006. (in Chinese)
- [7] 姚蔡翔.激光加工的原理、应用现状与展望[J].山东工业技术,2013(15):12-14.
YAO C X. The principle, application status and prospect of laser processing [J]. *Shandong Industrial Technology*, 2013(15): 12-14. (in Chinese)
- [8] 付国柱.玻璃的激光切割技术[J].光机电信息,2008,25(3):5-11.
FU G Z. Technology of cutting glass by laser [J]. *OME Information*, 2008, 25(3): 5-11. (in Chinese)
- [9] 张威,李国柱,王春明,等.铝锂合金光纤激光切割的工艺优化与设计[J].中国激光,2015,42(2):0203003.
ZHANG W, LI G Z, WANG C M, *et al.* Process optimization and design of fiber laser cutting aluminium-lithium alloy [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2015, 42(2): 0203003. (in Chinese)
- [10] 刘继展,徐秀琼,李萍萍.果实采摘中果梗激光切割分析与实验[J].农业机械学报,2014,45(1):59-64.
LIU J Z, XU X Q, LI P P. Analysis and experiment on laser cutting of fruit peduncles [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(1): 59-64. (in Chinese)
- [11] 刘钊臣,李锐,岳章显.激光光凝治疗糖尿病视网膜病变疗效观察[J].临床眼科杂志,2010,18(3):244-245.
LIU Z C, LI R, YUE Z X. Therapeutic efficacy of retinal photocoagulation for diabetic retinopathy [J]. *Journal of Clinical Ophthalmology*, 2010, 18(3): 244-245. (in Chinese)

作者简介:乔律华(1989—),男,河南叶县人,硕士研究生,中级工程师,2013年于郑州大学获得学士学位,2016年于郑州大学获得硕士学位,从事显示面板行业。E-mail: qiaolvhua@boe.com.cn